

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Mai 2003 (01.05.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/036832 A3

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04J 3/06,
H04L 12/64

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/03752

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Oktober 2002 (04.10.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 50 671.6 17. Oktober 2001 (17.10.2001) DE
102 41 191.3 5. September 2002 (05.09.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

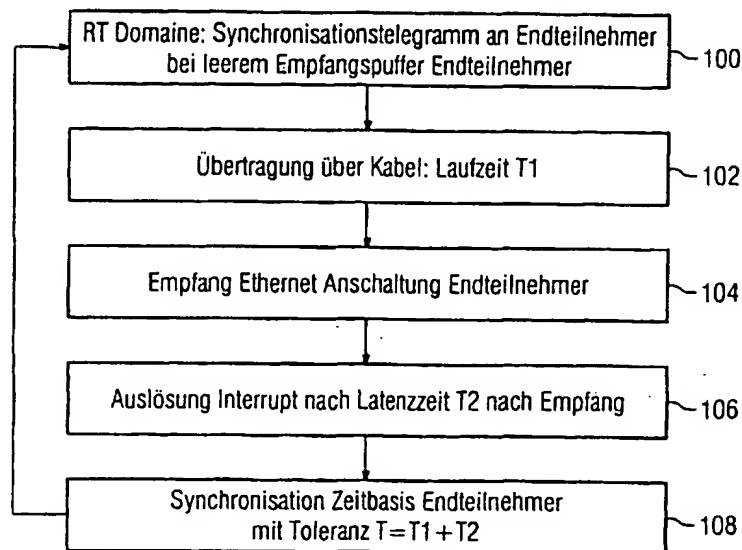
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KLOTZ, Dieter
[DE/DE]; Kannenbergstr. 15, 90768 Fürth (DE).
BRÜCKNER, Dieter [DE/DE]; Obere Dorfstr. 10,
96199 Zapfendorf (DE). KRAUSE, Karl-Heinz [DE/DE];
Augraben 41, 90475 Nürnberg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN END-USER OF AN ISOCHRONOUS CYCLICAL COMMUNICATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES ENDEILNEHMERS EINES ISOCHRONEN, ZYKLISCHEN KOM-
MUNIKATIONSSYSTEMS



100 RT DOMAINS: SYNCHRONISATION TELEGRAMME TO THE END USER
ON AN EMPTY RECEIPT BUFFER IN THE END USER
101 TRANSMISSION BY CABLE: RUNTIME T1
104 RECEIVER ETHERNET CONNECTION END USER
106 TRIGGER INTERRUPT AFTER LATENT TIME T2 AFTER RECEIPT
108 SYNCHRONISATION OF TIME BASE END USER WITH TOLERANCE $T = T1 + T2$

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an end-user (306) of an isochronous cyclical communication system (300), comprising the following steps: receipt of a synchronisation data telegramme (510) from a connecting user (303) in the communication system (300) by the end-user (306), whereby the synchronisation data telegramme is affected by the run time (T, T1, T2) of a transmission run between the connecting user and the end-user, synchronisation of a time base of the end-user (306) by means of the synchronisation data telegramme, resulting in a synchronisation of the time base with a tolerance corresponding to the run time, cyclical processing of a transmission list by the end user (306) within a communication cycle (500, 502) corresponding to the time base of the end user, whereby the transmission of a data telegramme (700) occurs according to the transmission list from the end user to the connecting user at the earliest at the beginning of the communication cycle (500, 502) and at the latest at a point equivalent to the tolerance (T) before the projected transfer time point of the relevant data telegramme by the communication user (303).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/036832 A3



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, CN, US.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CA, CN, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen

Recherchenberichts:

21. August 2003

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers (306) eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystem (300) mit folgenden Schritten: Empfang eines Synchronisationsdatentelegramms (510) von einem Durchleiteteilnehmer (303) des Kommunikationssystems (300) durch den Endteilnehmer (306), wobei das Synchronisationsdatentelegramm mit der Laufzeit (T, T1, T2) einer Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleiteteilnehmer und dem Endteilnehmer behaftet ist; Synchronisation einer Zeitbasis des Endteilnehmers (306) mit Hilfe des Synchronisationsdatentelegramms, woraus eine Synchronisation der Zeitbasis mit einer Toleranz entsprechend der Laufzeit resultiert; zyklische Abarbeitung einer Sendeliste von dem Endteilnehmer (306) innerhalb eines Kommunikationszyklus (500, 502) entsprechend der Zeitbasis des Endteilnehmers, wobei die Sendung eines Datentelegramms (700) gemäß der Sendeliste von dem Endteilnehmer an den Durchleiteteilnehmer frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus (500, 502) und spätestens um die Toleranz (T) vor dem projizierten Weiterleitungszeitpunkt (TW) des betreffenden Datentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer (303) erfolgt.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: I Application No

PCT/DE 02/03752

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H04J3/06 H04L12/64

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 H04J H04L G08C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 42 15 380 A (SIEMENS AG) 18 November 1993 (1993-11-18) column 2, line 52 - line 59 column 2, line 63 - line 67 column 4, line 32 - line 37 column 4, line 51 - line 55 column 5, line 12 - line 30	1-3,6, 8-11
A	column 5, line 42 - line 62 column 6, line 7 - line 15 column 7, line 15 - line 18	4,5,7
Y	US 4 502 137 A (TAN YOICHI) 26 February 1985 (1985-02-26) column 3, line 3 - line 23 figure 1 column 5, line 30 - column 6, line 21 --- -/--	1-3,6, 8-11



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 June 2003

Date of mailing of the international search report

24/06/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pieper, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: d Application No
PCT/DE 02/03752

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 197 10 971 A (SIEMENS AG) 24 September 1998 (1998-09-24) column 1, line 6 - line 29 column 2, line 15 - line 39 column 4, line 18 - line 28 figure 1	1,6,8-11
A	SHARROCK S M ET AL: "A CSMA/CD-BASED, INTEGRATED VOICE/DATA PROTOCOL WITH DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION" COMPUTER NETWORKS AND ISDN SYSTEMS, NORTH HOLLAND PUBLISHING. AMSTERDAM, NL, vol. 18, no. 1, 24 November 1989 (1989-11-24), pages 1-18, XP000070488 ISSN: 0169-7552 page 4, right-hand column, paragraph 2 - paragraph 4; figure 2	2
A	KOOPMAN P J ET AL: "TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS WITHOUT A BUS MASTER" UTRC TECHNICAL REPORT RR-9500470, 'Online! 30 June 1995 (1995-06-30), pages 1-12, XP002238363 Retrieved from the Internet: <URL:http://www.ece.cmu.edu/ koopman/jtdma/jtdma.html> 'retrieved on 2003-04-14! page 2, paragraph II; figure 1	1
P,A	DE 100 04 425 A (SIEMENS AG) 17 January 2002 (2002-01-17) cited in the application column 22, paragraph 98 -column 23, paragraph 99 column 24, paragraph 101 -column 25, paragraph 106	1-11
A	& WO 01 58067 A (SIEMENS) 9 August 2001 (2001-08-09)	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

nation on patent family members

Intern I Application No

PCT/DE 02/03752

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4215380	A	18-11-1993	DE 4215380 A1	18-11-1993
US 4502137	A	26-02-1985	JP 1033060 B	11-07-1989
			JP 1553301 C	04-04-1990
			JP 57154956 A	24-09-1982
DE 19710971	A	24-09-1998	DE 19710971 A1	24-09-1998
DE 10004425	A	17-01-2002	DE 10004425 A1	17-01-2002
			WO 0158067 A1	09-08-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: s Aktenzeichen

PCT/DE 02/03752

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04J3/06 H04L12/64

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04J H04L G08C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 42 15 380 A (SIEMENS AG) 18. November 1993 (1993-11-18) Spalte 2, Zeile 52 - Zeile 59 Spalte 2, Zeile 63 - Zeile 67 Spalte 4, Zeile 32 - Zeile 37 Spalte 4, Zeile 51 - Zeile 55 Spalte 5, Zeile 12 - Zeile 30	1-3,6, 8-11
A	Spalte 5, Zeile 42 - Zeile 62 Spalte 6, Zeile 7 - Zeile 15 Spalte 7, Zeile 15 - Zeile 18	4,5,7
Y	US 4 502 137 A (TAN YOICHI) 26. Februar 1985 (1985-02-26) Spalte 3, Zeile 3 - Zeile 23 Abbildung 1 Spalte 5, Zeile 30 - Spalte 6, Zeile 21 --- -/-	1-3,6, 8-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Juni 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

24/06/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pieper, T

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 197 10 971 A (SIEMENS AG) 24. September 1998 (1998-09-24) Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 29 Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 39 Spalte 4, Zeile 18 - Zeile 28 Abbildung 1	1,6,8-11
A	SHARROCK S M ET AL: "A CSMA/CD-BASED, INTEGRATED VOICE/DATA PROTOCOL WITH DYNAMIC CHANNEL ALLOCATION" COMPUTER NETWORKS AND ISDN SYSTEMS, NORTH HOLLAND PUBLISHING. AMSTERDAM, NL, Bd. 18, Nr. 1, 24. November 1989 (1989-11-24), Seiten 1-18, XP000070488 ISSN: 0169-7552 Seite 4, rechte Spalte, Absatz 2 - Absatz 4; Abbildung 2	2
A	KOOPMAN P J ET AL: "TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS WITHOUT A BUS MASTER" UTRC TECHNICAL REPORT RR-9500470, 'Online! 30. Juni 1995 (1995-06-30), Seiten 1-12, XP002238363 Gefunden im Internet: <URL:http://www.ece.cmu.edu/ koopman/jtdma/jtdma.html> 'gefunden am 2003-04-14! Seite 2, Absatz II; Abbildung 1	1
P,A	DE 100 04 425 A (SIEMENS AG) 17. Januar 2002 (2002-01-17) in der Anmeldung erwähnt Spalte 22, Absatz 98 -Spalte 23, Absatz 99 Spalte 24, Absatz 101 -Spalte 25, Absatz 106	1-11
A	& WO 01 58067 A (SIEMENS) 9. August 2001 (2001-08-09)	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

zur selben Patentfamilie gehören

Intern: es Aktenzeichen

PCT/DE 02/03752

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 4215380	A	18-11-1993	DE	4215380 A1	18-11-1993
US 4502137	A	26-02-1985	JP	1033060 B	11-07-1989
			JP	1553301 C	04-04-1990
			JP	57154956 A	24-09-1982
DE 19710971	A	24-09-1998	DE	19710971 A1	24-09-1998
DE 10004425	A	17-01-2002	DE	10004425 A1	17-01-2002
			WO	0158067 A1	09-08-2001

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Mai 2003 (01.05.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/036832 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04J 3/06,
H04L 12/64

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/03752

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Oktober 2002 (04.10.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 50 671.6 17. Oktober 2001 (17.10.2001) DE
102 41 191.3 5. September 2002 (05.09.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

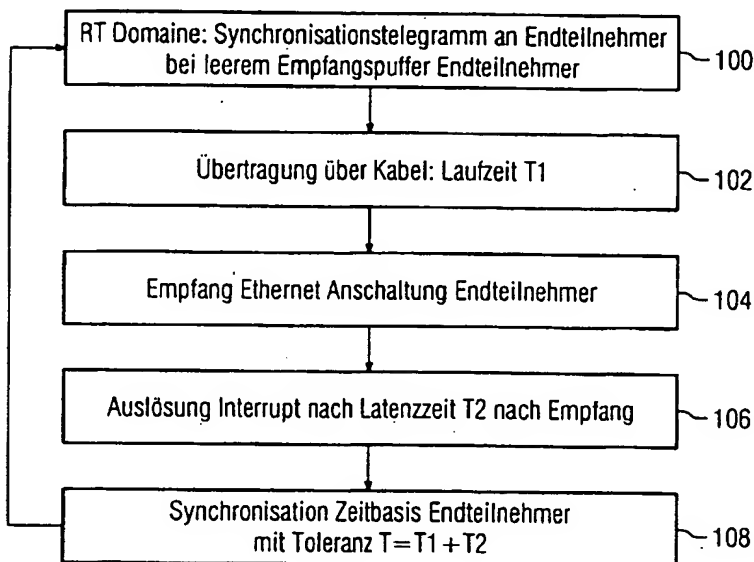
(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KLOTZ, Dieter
[DE/DE]; Kannenbergstr. 15, 90768 Fürth (DE).
BRÜCKNER, Dieter [DE/DE]; Obere Dorfstr. 10,
96199 Zapfendorf (DE). KRAUSE, Karl-Heinz [DE/DE];
Augraben 41, 90475 Nürnberg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN END-USER OF AN ISOCHRONOUS CYCLICAL COMMUNICATION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES ENDEILNEHMERS EINES ISOCHRONEN, ZYKLISCHEN KOM-
MUNIKATIONSSYSTEMS



100 RT DOMAINS: SYNCHRONISATION TELEGRAMME
TO THE END USER ON AN EMPTY RECEIPT BUFFER IN
THE END USER
102 TRANSMISSION BY CABLE: RUNTIME T1
104 RECEIVER ETHERNET CONNECTION END USER
106 TRIGGER INTERRUPT AFTER LATENT TIME T2
AFTER RECEIPT
108 SYNCHRONISATION OF TIME BASE END USER WITH
TOLERANCE $T = T1 + T2$

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an end-user (306) of an isochronous cyclical communication system (300), comprising the following steps: receipt of a synchronisation data telegramme (510) from a connecting user (303) in the communication system (300) by the end-user (306), whereby the synchronisation data telegramme is affected by the run time (T , $T1$, $T2$) of a transmission run between the connecting user and the end-user, synchronisation of a time base of the end-user (306) by means of the synchronisation data telegramme, resulting in a synchronisation of the time base with a tolerance corresponding to the run time, cyclical processing of a transmission list by the end user (306) within a communication cycle (500, 502) corresponding to the time base of the end user, whereby the transmission of a data telegramme (700) occurs according to the transmission list from the end user to the connecting user at the earliest at the beginning of the communication cycle (500, 502) and at the latest at a point equivalent to the tolerance (T) before the projected transfer time point of the relevant data telegramme by the communication user (303).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/036832 A2



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CA, CN, US.

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CA, CN, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR)

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers (306) eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystem (300) mit folgenden Schritten: Empfang eines Synchronisationsdatentelegramms (510) von einem Durchleiteteilnehmer (303) des Kommunikationssystems (300) durch den Endteilnehmer (306), wobei das Synchronisationsdatentelegramm mit der Laufzeit (T, T1, T2) einer Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleiteteilnehmer und dem Endteilnehmer behaftet ist; Synchronisation einer Zeitbasis des Endteilnehmers (306) mit Hilfe des Synchronisationsdatentelegramms, woraus eine Synchronisation der Zeitbasis mit einer Toleranz entsprechend der Laufzeit resultiert; zyklische Abarbeitung einer Sendeliste von dem Endteilnehmer (306) innerhalb eines Kommunikationszyklus (500, 502) entsprechend der Zeitbasis des Endteilnehmers, wobei die Sendung eines Datentelegramms (700) gemäß der Sendeliste von dem Endteilnehmer an den Durchleiteteilnehmer frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus (500, 502) und spätestens um die Toleranz (T) vor dem projektierten Weiterleitungszeitpunkt (TW) des betreffenden Datentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer (303) erfolgt.

Beschreibung

Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers eines isochronen Kommunikationssystems sowie einen Endteilnehmer, einen Durchleiteteilnehmer und entsprechende Computerprogrammprodukte.

10

Unter einem synchronen, getakteten Kommunikationssystem mit Äquidistanz-Eigenschaften versteht man ein System aus wenigstens zwei Teilnehmern, die über ein Datennetz zum Zweck des gegenseitigen Austausches von Daten bzw. der gegenseitigen Übertragung von Daten miteinander verbunden sind. Dabei erfolgt der Datenaustausch zyklisch in äquidistanten Kommunikationszyklen, die durch den vom System verwendeten Kommunikationstakt vorgegeben werden.

15

Ein äquidistanter deterministischer zyklischer Datenaustausch in Kommunikationssystemen basiert auf einer gemeinsamen Takt- bzw. Zeitbasis aller an der Kommunikation beteiligten Komponenten. Die Takt- bzw. Zeitbasis wird von einer ausgezeichneten Komponente (Taktschläger) zu den anderen Komponenten übertragen. Bei isochronem Realtime-Ethernet wird der Takt bzw. die Zeitbasis von einem Synchronisationsmaster durch das Senden von Synchronisationstelegrammen vorgegeben.

20

25

Teilnehmer sind beispielsweise zentrale Automatisierungsgeräte, Programmier-, Projektierungs- oder Bediengeräte, Peripheriegeräte wie z. B. Ein-/Ausgabe-Baugruppen, Antriebe, Aktoren, Sensoren, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) oder andere Kontrolleinheiten, Computer, oder Maschinen, die elektronische Daten mit anderen Maschinen austauschen, insbesondere Daten von anderen Maschinen verarbeiten. Teilnehmer werden auch Netzwerkknoten oder Knoten genannt. Unter Kontrolleinheiten werden im folgenden Regler- oder Steuerungs-

30

35

einheiten jeglicher Art verstanden, aber auch beispielsweise Switches und/oder Switch-Controller. Als Datennetze werden beispielsweise Bussysteme wie z. B. Feldbus, Profibus, Ethernet, Industrial Ethernet, FireWire oder auch PC-interne Bussysteme (PCI), etc., insbesondere aber auch isochrones Real-time Ethernet, verwendet.

Datennetze ermöglichen die Kommunikation zwischen mehreren Teilnehmern durch die Vernetzung, also Verbindung der einzelnen Teilnehmer untereinander. Kommunikation bedeutet dabei die Übertragung von Daten zwischen den Teilnehmern. Die zu übertragenden Daten werden dabei als Datentelegramme verschickt, d. h. die Daten werden zu mehreren Paketen zusammengepackt und in dieser Form über das Datennetz an den entsprechenden Empfänger gesendet. Man spricht deshalb auch von Datenpaketen. Der Begriff Übertragung von Daten wird dabei hier synonym zur oben erwähnten Übertragung von Datentelegrammen oder Datenpaketen verwendet.

In verteilten Automatisierungssystemen, beispielsweise im Bereich Antriebstechnik, müssen bestimmte Daten zu bestimmten Zeiten bei den dafür bestimmten Teilnehmern eintreffen und von den Empfängern verarbeitet werden. Man spricht dabei von echtzeitkritischen Daten bzw. Datenverkehr, da ein nicht rechtzeitigtes Eintreffen der Daten am Bestimmungsort zu unerwünschten Resultaten beim Teilnehmer führt, im Gegensatz zur nicht echtzeitkritischen, beispielsweise inter- bzw. intranetbasierten Datenkommunikation. Gemäß IEC 61491, EN61491 SERCOS interface - Technische Kurzbeschreibung (http://www.sercos.de/deutsch/index_deutsch.htm) kann ein erfolgreicher echtzeitkritischer Datenverkehr der genannten Art in verteilten Automatisierungssystemen gewährleistet werden.

Automatisierungskomponenten (z. B. Steuerungen, Antriebe, ...) verfügen heute im Allgemeinen über eine Schnittstelle zu einem zyklisch getakteten Kommunikationssystem. Eine Ablaufebene der Automatisierungskomponente (Fast-cycle) (z. B. La-

geregelung in einer Steuerung, Drehmomentregelung eines Antriebs) ist auf den Kommunikationszyklus synchronisiert. Dadurch wird der Kommunikationstakt festgelegt. Andere, niederperformante Algorithmen (Slow-cycle) (z. B. Temperaturregelungen) der Automatisierungskomponente können ebenfalls nur über diesen Kommunikationstakt mit anderen Komponenten (z. B. Binärschalter für Lüfter, Pumpen, ...) kommunizieren, obwohl ein langsamerer Zyklus ausreichend wäre. Durch Verwendung nur eines Kommunikationstaktes zur Übertragung von allen Informationen im System entstehen hohe Anforderungen an die Bandbreite der Übertragungsstrecke.

Für die Prozesssteuerung und -überwachung in der automatisierten Fertigung und insbesondere bei digitalen Antriebstechniken sind sehr schnelle und zuverlässige Kommunikationssysteme mit vorhersagbaren Reaktionszeiten erforderlich.

In der deutschen Patentanmeldung DE 100 58 524.8 ist ein System und ein Verfahren zur Übertragung von Daten über schaltbare Datennetze, insbesondere das Ethernet, offenbart, das einen Mischbetrieb von echtzeitkritischer und nichtechtzeitkritischer, insbesondere Inter- bzw. Intranet basierter Datenkommunikation erlaubt.

Dies ermöglicht sowohl eine echtzeitkritische (RT; Real-Time) als auch eine nicht echtzeitkritische Kommunikation (NRT; Non-Real-Time) in einem schaltbaren Datennetz, bestehend aus Teilnehmern und Koppereinheiten, beispielsweise eines verteilten Automatisierungssystems, durch einen zyklischen Betrieb.

In einem so genannten Übertragungszyklus existiert für alle Teilnehmer und Koppereinheiten des schaltbaren Datennetzes jeweils wenigstens ein Bereich zur Übermittlung echtzeitkritischer und wenigstens ein Bereich zur Übermittlung nicht echtzeitkritischer Daten, wodurch die echtzeitkritische von der nicht echtzeitkritischen Kommunikation getrennt wird. Da

alle Teilnehmer und Koppereinheiten immer auf eine gemeinsame Zeitbasis synchronisiert sind, finden die jeweiligen Bereiche zur Übermittlung von Daten für alle Teilnehmer und Koppereinheiten jeweils zum selben Zeitpunkt statt, d. h. die echtzeitkritische Kommunikation findet zeitlich unabhängig von der nicht echtzeitkritischen Kommunikation statt und wird deshalb nicht von dieser beeinflusst.

Die echtzeitkritische Kommunikation wird im Voraus geplant. Einspeisen der Datentelegramme beim originären Sender sowie deren Weiterleitung mittels der beteiligten Koppereinheiten erfolgt zeitbasiert. Durch Zwischenspeicherung in den jeweiligen Koppereinheiten wird erreicht, dass zu beliebiger Zeit auftretende, spontane, internetfähige, nicht echtzeitkritische Kommunikation in den für die nicht echtzeitkritische Kommunikation vorgesehenen Übertragungsbereich eines Übertragungszyklus verschoben und auch nur dort übertragen wird.

In dieser Anmeldung ist die Ausprägung eines prinzipiellen Aufbaus eines Übertragungszyklus, der in zwei Bereiche aufgeteilt ist, beispielhaft dargestellt. Ein Übertragungszyklus ist in einen ersten Bereich, der zur Übertragung echtzeitkritischer Daten vorgesehen ist, und einen zweiten Bereich, der zur Übertragung nicht echtzeitkritischer Daten vorgesehen ist, aufgeteilt. Die Länge des dargestellten Übertragungszyklus symbolisiert dessen zeitliche Dauer, die vorteilhafterweise je nach Anwendungszweck beispielsweise zwischen einigen Mikrosekunden und einigen Sekunden liegt.

Die Zeitdauer eines Übertragungszyklus ist veränderbar, wird aber vor dem Zeitpunkt der Datenübertragung, beispielsweise durch einen Steuerungsrechner, wenigstens einmal festgelegt und ist für alle Teilnehmer und Koppereinheiten des schaltbaren Datennetzes jeweils gleich lang. Die Zeitdauer eines Übertragungszyklus und/oder die Zeitdauer des ersten Bereichs, der zur Übertragung von echtzeitkritischen Daten vorgesehen ist, kann jederzeit, beispielsweise zu vorher geplanten

ten, festen Zeitpunkten und/oder nach einer geplanten Anzahl von Übertragungszyklen, vorteilhafterweise vor Beginn eines Übertragungszyklus verändert werden, indem der Steuerungsrechner beispielsweise auf andere geplante, echtzeitkritische Übertragungszyklen umschaltet.

Darüber hinaus kann der Steuerungsrechner jederzeit im laufenden Betrieb eines Automatisierungssystems je nach Erfordernis Neuplanungen der Echtzeitkommunikation durchführen, wodurch die Zeitdauer des RT-Teilzyklus verändert werden kann. Die absolute Zeitdauer eines Übertragungszyklus bleibt im laufenden Betrieb konstant und ist ein Maß für den zeitlichen Anteil, bzw. die Bandbreite der nicht echtzeitkritischen Kommunikation während eines Übertragungszyklus, also die Zeit, die für die nicht echtzeitkritische Kommunikation zur Verfügung steht.

So hat die nicht echtzeitkritische Kommunikation beispielsweise bei einer Zeitdauer der echtzeitkritischen Kommunikation von 350 μ s und einem Übertragungszyklus von 500 μ s eine Bandbreite von 30 %, bei 10 ms eine Bandbreite von 97 %. Im ersten Bereich, der zur Übertragung echtzeitkritischer Daten vorgesehen ist, ist vor dem Senden der eigentlichen echtzeitkritischen Datentelegramme eine gewisse Zeitdauer zum Senden von Datentelegrammen zur Organisation der Datenübertragung reserviert.

Die Datentelegramme zur Organisation der Datenübertragung enthalten beispielsweise Daten zur Zeitsynchronisation der Teilnehmer und Koppereinheiten des Datennetzes und/oder Daten zur Topologieerkennung des Netzwerks. Nachdem diese Datentelegramme gesendet wurden, werden die echtzeitkritischen Datentelegramme gesendet. Da die Echtzeitkommunikation durch den zyklischen Betrieb im Voraus planbar ist, sind für alle zu übertragenden, echtzeitkritischen Datentelegramme die Sendezeitpunkte bzw. die Zeitpunkte für die Weiterleitung der echtzeitkritischen Datentelegramme vor Beginn der Datenüber-

tragung bekannt, d. h. die Zeitdauer des Bereichs zur Übertragung von nicht echtzeitkritischen Daten ist automatisch durch die Zeitdauer des Bereichs zur Übertragung von echtzeitkritischen Daten festgelegt.

5

Vorteil dieser Anordnung ist, dass jeweils nur die notwendige Übertragungszeit für den echtzeitkritischen Datenverkehr verwendet wird und nach dessen Beendigung die restliche Zeit automatisch für die nicht echtzeitkritische Kommunikation, beispielsweise für die nicht planbare Internetkommunikation bzw. andere nicht echtzeitkritische Anwendungen zur Verfügung steht.

Besonders vorteilhaft ist, dass die Zeitdauer des Bereichs zur Übertragung von echtzeitkritischen Daten jeweils durch die verbindungs-spezifisch zu übertragenden Daten bestimmt wird, d. h., die Zeitdauer der beiden Bereiche wird für jede einzelne Datenverbindung durch die jeweils notwendige Datenmenge der zu übertragenden echtzeitkritischen Daten bestimmt, wodurch die zeitliche Aufteilung der beiden Bereiche für jede einzelne Datenverbindung für jeden Übertragungszyklus verschieden sein kann.

Es wird jeweils nur die notwendige Übertragungszeit für den echtzeitkritischen Datenverkehr verwendet und die restliche Zeit eines Übertragungszyklus steht automatisch für die nicht echtzeitkritische Kommunikation, beispielsweise für die nicht planbare Internetkommunikation bzw. andere nicht echtzeitkritische Anwendungen für alle Teilnehmer des schaltbaren Daten-netzes zur Verfügung.

Da die Echtzeitkommunikation im Voraus entsprechend so geplant ist, dass das Ankommen der echtzeitkritischen Datentelegramme in den entsprechenden Koppereinheiten so geplant ist, dass die betrachteten, echtzeitkritischen Datentelegramme spätestens zum Weiterleitungszeitpunkt oder früher bei den entsprechenden Koppereinheiten ankommen, können die echtzeit-

kritischen Datentelegramme ohne zeitlichen Zwischenraum gesendet bzw. weitergeleitet werden, so dass durch das dicht gepackte Senden, bzw. Weiterleiten, die zur Verfügung stehende Zeitdauer bestmöglich genutzt wird. Selbstverständlich ist es aber auch möglich bei Bedarf Sendepausen zwischen der Übertragung der einzelnen Datentelegramme einzubauen.

Die prinzipielle Arbeitsweise in einem geschalteten Netzwerk wird stellvertretend für ein beliebiges Netzwerk beispielhaft anhand von zwei Teilnehmern, beispielsweise einem Antrieb und einem Steuerrechner, mit jeweils integrierten Koppereinheiten und einem weiteren Teilnehmer ohne Koppereinheit, die durch Datenverbindungen miteinander verbunden sind, folgendermaßen erläutert. Die Koppereinheiten besitzen jeweils lokale Speicher, die über interne Schnittstellen mit den Teilnehmern verbunden sind.

Über die Schnittstellen tauschen die Teilnehmer Daten mit den entsprechenden Koppereinheiten aus. Die lokalen Speicher sind innerhalb der Koppereinheiten über die Datenverbindungen mit den Steuerwerken verbunden. Die Steuerwerke empfangen Daten bzw. leiten Daten weiter über die internen Datenverbindungen von bzw. zu den lokalen Speichern oder über eine oder mehrere der externen Ports. Durch Anwendung des Verfahrens der Zeitsynchronisation haben die Koppereinheiten stets eine gemeinsame synchrone Zeitbasis. Hat ein Teilnehmer echtzeitkritische Daten, so werden diese zum vorausgeplanten Zeitpunkt während des Bereichs für die echtzeitkritische Kommunikation über die entsprechende Schnittstelle und den lokalen Speicher vom entsprechenden Steuerwerk abgeholt und von dort über den vorgesehenen externen Port zur nächsten verbundenen Koppereinheit gesendet.

Sendet ein anderer Teilnehmer zur gleichen Zeit, also während der echtzeitkritischen Kommunikation, nicht echtzeitkritische Daten, beispielsweise für eine Internetabfrage, so werden diese vom Steuerwerk über den externen Port empfangen und

über eine interne Verbindung an den lokalen Speicher weitergeleitet und dort zwischengespeichert. Von dort werden sie erst im Bereich für die nicht echtzeitkritische Kommunikation wieder abgeholt und an den Empfänger weitergeleitet, d. h.

5 sie werden in den zweiten Bereich des Übertragungszyklus, der für die spontane, nicht echtzeitkritische Kommunikation vorbehalten ist, verschoben, wodurch Störungen der Echtzeitkommunikation ausgeschlossen werden.

10 Für den Fall, dass nicht alle zwischengespeicherten, nicht echtzeitkritischen Daten während des, für die Übertragung der nicht echtzeitkritischen Daten vorgesehenen Bereichs eines Übertragungszyklus übertragen werden können, werden sie im lokalen Speicher der entsprechenden Kopeleinheit solange
15 zwischengespeichert, bis sie während eines, für die Übertragung der nicht echtzeitkritischen Daten vorgesehenen Bereichs eines späteren Übertragungszyklus übertragen werden können, wodurch Störungen der Echtzeitkommunikation in jedem Fall ausgeschlossen werden.

20

Die echtzeitkritischen Datentelegramme, die über entsprechende Datenverbindungen über die externen Ports beim Steuerwerk der zugehörigen Kopeleinheit eintreffen, werden unmittelbar über die entsprechenden externen Ports weitergeleitet. Dies
25 ist möglich, da die Echtzeitkommunikation im Voraus geplant ist und deshalb für alle zu Übertragenden, echtzeitkritischen Datentelegramme Sende- und Empfangszeitpunkt, alle jeweils beteiligten Kopeleinheiten sowie alle Zeitpunkte für die Weiterleitung und alle Empfänger der echtzeitkritischen Datentelegramme bekannt sind.
30

Durch die im Voraus erfolgte Planung der Echtzeitkommunikation ist auch sichergestellt, dass es auf den Datenverbindungen zu keinen Datenkollisionen kommt. Die Weiterleitungszeitpunkte
35 aller echtzeitkritischen Datenpakete von den jeweils beteiligten Kopeleinheiten sind ebenfalls vorher geplant und damit eindeutig festgelegt. Das Ankommen der echtzeitkriti-

schen Datentelegramme ist deshalb so geplant, dass die betrachteten, echtzeitkritischen Datentelegramme spätestens zum Weiterleitungszeitpunkt oder früher im Steuerwerk der entsprechenden Koppereinheit ankommen. Damit ist das Problem von
5 Zeitunschärfen, die sich insbesondere bei langen Übertragungsketten bemerkbar machen, eliminiert.

Mit dem in der deutschen Patentanmeldung DE 100 58 524.8 beschriebenen Verfahren ist es möglich, Ethernet-basierte Kommunikationsnetze, insbesondere isochrone Ethernet-basierte
10 Kommunikationsnetze, aufzubauen,

- deren Knoten im Submikrosekundenbereich synchron arbeiten und
15
- die zyklische Kommunikation exakt zu den geplanten Zeitpunkten ausführen (isochrone Echtzeitkommunikation), unabhängig von beliebiger sonstiger, spontaner Kommunikation (NRT-Kommunikation oder Non-Realtime-Kommunikation) auf
20 bzw. in diesem Netz.

Alle Teilnehmer an der isochronen Echtzeitkommunikation müssen aber auf spezieller Kommunikations-Hardware basieren, um

- 25 - die Zeitsynchronität zu erzielen und
- Telegramme exakt zum geplanten Zeitpunkt abzusenden.

Eine Einbindung von Teilnehmern mit existierender Ethernet-Anschaltung, die diese speziellen Hardwarevorkehrungen nicht
30 haben, in die isochrone Echtzeitkommunikation, im Folgenden IRT-Kommunikation genannt, ist im Stand der Technik nicht möglich.

35 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems zu schaffen, wel-

ches die Anschaltung eines Endteilnehmers an ein solches Kommunikationssystem ermöglicht, der eine solche spezielle Hardwareunterstützung nicht hat. Ferner liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen entsprechenden Endteilnehmer, Durchleiteteilnehmer und Computerprogrammprodukte zu schaffen.

Die der Erfindung zugrunde liegenden Aufgaben werden jeweils mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

Ausgangspunkt der vorliegenden Erfindung ist die Erkenntnis, dass die Latenzzeit zwischen dem Eintreffen eines Datentelegramms an einen Teilnehmer, z. B. einem Ethernet-Teilnehmer, bis zum Auslösen eines entsprechenden Interrupts konstant und ermittelbar ist, wenn der Empfangspuffer leer ist, d. h. wenn in dem Empfangspfad des Endteilnehmers keine Telegramme gespeichert sind. Ein solcher leerer Empfangspfad wird im Weiteren als leere Anschaltung bezeichnet.

Um eine näherungsweise Synchronisation des Endteilnehmers mit der Zeitbasis des isochronen, zyklischen Kommunikationssystems zu erreichen, empfängt der Endteilnehmer von einem unmittelbar benachbarten Durchleiteteilnehmer in verschiedenen Kommunikationszyklen Synchronisationsdatentelegramme. Solche Synchronisationsdatentelegramme werden innerhalb des isochronen, zyklischen Kommunikationssystems zur Synchronisierung der Zeitbasen der einzelnen Teilnehmer des Kommunikationssystems verwendet. Wegen der fehlenden Hardwareunterstützung in dem Endteilnehmer ist eine genaue Synchronisation, wie diese bei den Teilnehmern des isochronen Kommunikationssystems erfolgt, nicht möglich. Die Synchronisation der Zeitbasis in dem Endteilnehmer erfolgt vielmehr mit einer Toleranz, die sich aus der Gesamt-Übertragungszeit zwischen dem Durchleiteteilnehmer und dem Endteilnehmer ergibt.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung verfügt der Endteilnehmer über einen Empfangspuffer. Wenn der Empfangspuffer maximal gefüllt ist, benötigt der Endteilnehmer zur Leerung des Empfangspuffers eine maximale Entleerzeit.

- 5 Bei Vorhandensein eines Empfangspuffers in dem Endteilnehmer ist die Gesamt-Übertragungszeit eines Synchronisationsdatentelegramms also nur dann determiniert, wenn der Empfangspuffer des Endteilnehmers beim Empfang des Synchronisationsdatentelegramms leer ist.

10

Deshalb erfolgt die Sendung eines solchen Synchronisationsdatentelegramms in dieser Ausführungsform durch den Durchleiteteilnehmer frühestens erst nach einer Sendepause nach Beginn des Kommunikationszyklus, wobei die Sendepause der maximalen
15 Entleerzeit entspricht. Aufgrund dessen ist sichergestellt, dass ein von dem Durchleiteteilnehmer an den Endteilnehmer abgesendetes Synchronisationsdatentelegramm auf einen leeren Empfangspuffer des Endteilnehmers trifft, und somit die Gesamt-Übertragungszeit unabhängig von der Länge eines zuvor
20 von dem Endteilnehmer empfangenen Datentelegramms ist.

25

Damit die Einspeisung eines Datentelegramms von dem Endteilnehmer mit der ungenau synchronisierten Zeitbasis in das isochrone, zyklische Kommunikationssystem erfolgen kann, erfolgt
25 erfindungsgemäß die Sendung eines solchen Datentelegramms von dem Endteilnehmer an dessen benachbarten Durchleiteteilnehmer immer frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus und spätestens um die Toleranzzeit der Synchronisation der Zeitbasis des Endteilnehmers vor dem Weiterleitungszeitpunkt des Durchleiteteilnehmers. Aufgrund der Sendung des Datentelegramms zu
30 einem Zeitpunkt, der zumindest um die Toleranzzeit vor dem Weiterleitungszeitpunkt liegt, ist sichergestellt, dass der Durchleiteteilnehmer das Datentelegramm von dem Endteilnehmer spätestens zu einem Zeitpunkt empfängt, der eine Weiterleitung
35 des Datentelegramms gemäß des projektierten Weiterleitungszeitpunkts ermöglicht.

12

Zusammenfassend handelt es sich bei der offenbarten Erfindung um ein System und Verfahren zur Echtzeitkommunikation in Kommunikationssystemen mit Teilnehmern ohne HW-Unterstützung für Echtzeitfähigkeit und Teilnehmern mit HW-Unterstützung für
5 Echtzeitfähigkeit, wobei

- die Laufzeit, insbesondere die konstante Laufzeit eines Telegramms von einem zweiten Teilnehmer zu einem ersten Teilnehmer zur Zeitsynchronisation des ersten Teilnehmers mit
10 allen anderen Teilnehmern verwendet wird,
- die Laufzeit, insbesondere die konstante Laufzeit eines solchen Telegramms durch eine vorangehende Sendepause garantiert wird,
15
- durch einen Empfangspuffer beim zweiten Teilnehmer der erste Teilnehmer Echtzeit-Telegramme zeitlich unpräzise senden kann und erst das Weiterleiten aus diesem Empfangspuffer mit hoher Zeitgenauigkeit erfolgen muss,
20
- der Empfangspuffer beim zweiten Teilnehmer mehrere Telegramme des ersten Teilnehmers puffern kann.

Von besonderem Vorteil ist es darüber hinaus, dass die offen-
25 barten Verfahren in Automatisierungssystemen, insbesondere bei und in Verpackungsmaschinen, Pressen, Kunststoffspritzmaschinen, Textilmaschinen, Druckmaschinen, Werkzeugmaschinen, Roboter, Handlingsystemen, Holzverarbeitungs-
maschinen, Glasverarbeitungs-
maschinen, Keramikverarbeitungs-
30 maschinen sowie Hebezeugen eingesetzt bzw. verwendet werden können.

Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:
35

- Fig. 1: eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Synchronisation der Zeitbasis eines Endteilnehmers ohne Hardwareunterstützung,
- 5 Fig. 2: ein Flussdiagramm zur Versendung von Datentelegrammen von dem Endteilnehmer mit der ungenau synchronisierten Zeitbasis,
- 10 Fig. 3: eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kommunikationssystems,
- Fig. 4: eine Prinzipdarstellung zur Zeitsynchronisation und Laufzeitbestimmung,
- 15 Fig. 5: eine Darstellung zur Verdeutlichung der notwendigen Sendepause bei dem Durchleiteteilnehmer,
- Fig. 6: eine Prinzipdarstellung der Zwischenpufferung im Eingangspuffer des Durchleiteteilnehmers,
- 20 Fig. 7: eine Darstellung zur Veranschaulichung der Sende- und Empfangszeitpunkte.

Die Figur 1 zeigt ein Flussdiagramm zur Synchronisation der Zeitbasis eines Endteilnehmers. Von einem Durchleiteteilnehmer, der zu dem Endteilnehmer unmittelbar benachbart ist, und der sich in der Echtzeit-Domain eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems befindet, wird im Schritt 100 ein Synchronisationsdatentelegramm an den Endteilnehmer gesendet, wobei zu dem Sendezeitpunkt oder zumindest bei dem vorher bestimmbaren Empfangszeitpunkt der Empfangspuffer des Endteilnehmers leer ist.

In dem Schritt 102 erfolgt die Übertragung des Synchronisationsdatentelegramms über ein Kabel, welches den Durchleiteteilnehmer und den Endteilnehmer miteinander verbindet. Diese Übertragung ist mit einer Laufzeit T_1 behaftet.

In dem Schritt 104 wird das Synchronisationsdatentelegramm in dem Empfangspuffer der leeren Anschaltung des Endteilnehmers empfangen. In dem Schritt 106 wird nach einer determinierten Latenzzeit T2 nach dem Empfang ein Interrupt ausgelöst. Aufgrund des Interrupts wird der Inhalt des Synchronisationsdatentelegramms ausgewertet und die Zeitbasis des Endteilnehmers wird entsprechend nachgeregelt. Diese Synchronisation der Zeitbasis des Endteilnehmers mit der Toleranz $T = T1 + T2$ erfolgt in dem Schritt 108.

Eine gewisse Zeit später wird der Schritt 100 erneut durchgeführt, d. h. es wird erneut ein Synchronisationsdatentelegramm von dem Durchleiteteilnehmer gesendet. Dies entspricht der Verfahrensweise in der Echtzeit-Domain, da auch eine Nachregelung der Zeitbasen der Teilnehmer von Zeit zu Zeit erforderlich ist.

Die Figur 2 zeigt die Vorgehensweise zur Versendung von Datentelegrammen von dem Endteilnehmer in das isochrone, zyklische Kommunikationssystem hinein. In dem Schritt 200 erfolgt die Erzeugung eines Datentelegramms in dem Endteilnehmer gemäß einer zyklisch abzuarbeitenden Sendeliste. Diese Sendeliste wird im Rahmen der Projektierung des Kommunikationssystems erstellt.

In dem Schritt 202 wird das projektierte Datentelegramm an den unmittelbar benachbarten Durchleiteteilnehmer gesendet. Die Sendung erfolgt frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus und spätestens zu einem Zeitpunkt T vor dem Weiterleitungszeitpunkt des Durchleiteteilnehmers. Wenn das Kommunikationssystem einen Kommunikationszyklus hat, der in einen Echtzeit-(RT)-Teilzyklus und in einen Nicht-Echtzeit-(NRT)-Teilzyklus unterteilbar ist, so erfolgt die Sendung des Datentelegramms frühestens zu Beginn des RT-Teilzyklus.

Die Figur 3 zeigt eine Prinzipdarstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems. Dieses beinhaltet ein

Kommunikationssystem 300, welches für die isochrone, zyklische Echtzeit-Kommunikation geeignet ist. Zu dem Kommunikationssystem 300 gehören Durchleiteteilnehmer 302 und 303 sowie Endteilnehmer 304. Sowohl die Durchleiteteilnehmer 302 und 303 als auch die Endteilnehmer 304 haben eine spezielle Hardwareunterstützung zur Erreichung einer hohen Zeitgenauigkeit der Synchronität der Zeitbasen sowie zur Erreichung eines hohen Datendurchsatzes und einer hohen Telegrammzahl.

Über die Durchleiteteilnehmer 303 sind ferner Endteilnehmer 306 an das Kommunikationssystem 300 angeschlossen, die eine solche spezielle Hardwareunterstützung nicht aufweisen. Diese Endteilnehmer 306 werden zum Beispiel gemäß der Ausführungsform der Figur 1 mit der Zeitbasis des Kommunikationssystems 300 näherungsweise synchronisiert und senden Datentelegramme gemäß der Ausführungsform der Figur 2 in das Kommunikationssystem 300 hinein.

Die Figur 4 zeigt eine mögliche Vorgehensweise zur Ermittlung der Toleranz T (vergleiche Figur 1).

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist einer der Durchleiteteilnehmer 303 mit einem der Endteilnehmer 306 über ein Kabel 308 verbunden. Durch das Kabel 308 wird eine Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleiteteilnehmer 303 und einer Ethernet-Anschaltung 310 des Endteilnehmers 306 geschaffen. Dieses Kabel 308 hat beispielsweise eine Länge von höchstens 100 Metern, woraus sich eine Laufzeit T_1 von $0,25 \text{ ms} \pm 0,25 \text{ ms}$ ergibt.

Bei leerem Empfangspuffer der Ethernet-Anschaltung 310 ist die Zeit bis zur Auslösung eines Interrupts in dem Endteilnehmer 306 determiniert und konstant. Hinzu kommt unter Umständen ein Jitter der Interrupt-Latenzzeit, woraus sich insgesamt die Latenzzeit T_2 nach dem Empfang des Datentelegramms in der Ethernet-Anschaltung 310 ergibt. Nachfolgend wird die

Zeitbasis des Endteilnehmers 306 mit der Toleranz T nachgeregelt.

Die Figur 5 zeigt einen Kommunikationszyklus 500 eines Durchleite-Teilnehmers des Kommunikationssystems 300 (vergleiche Figur 3) von z. B. 5 ms. Der Kommunikationszyklus 500 ist in einen Teilzyklus 502 für die Echtzeit-Kommunikation und in einen Teilzyklus 504 für die Nicht-Echtzeit-Kommunikation unterteilt. Sowohl während des Teilzyklus 502 als auch während des Teilzyklus 504 werden von z. B. dem Durchleiteteilnehmer 303 Echtzeit-Datentelegramme 506 bzw. Nicht-Echtzeit-Datentelegramme 508 gesendet.

Bei dem Datentelegramm 510 in dem Teilzyklus 502 handelt es sich bei den hier betrachteten Ausführungsbeispielen um ein Synchronisationsdatentelegramm. Dieses wird von dem Durchleiteteilnehmer 303 an dessen benachbarten Endteilnehmer 306 gesendet (vergleiche Figur 3). In dem hier betrachteten Ausführungsbeispiel hat der Endteilnehmer einen Empfangspuffer in seiner Ethernet-Anschaltung 310 (vergleiche Figur 4). Der Endteilnehmer 306 benötigt zum vollständigen Entleeren des Empfangspuffers eine maximale Entleerzeit.

Damit die Synchronisation der Zeitbasis in dem Endteilnehmer 306 mit der Toleranz T erfolgen kann, sendet der Durchleiteteilnehmer das Datentelegramm 510 erst nach einer Sendepause 512 nach Beginn des Teilzyklus 502, wobei die Sendepause in etwa gleich der maximalen Entleerzeit ist. Die Sendepause 512 kann auch etwas kürzer als die maximale Entleerzeit gewählt werden, da ja auch die Laufzeit T₁ von dem Endteilnehmer 306 noch für das Entleeren des Empfangspuffers verwendet werden kann.

Für die Zeitsynchronisation der Zeitbasis eines solchen Endteilnehmers wird also vorzugsweise die Eigenschaft von üblichen Ethernet-Anschaltungen ausgenutzt, dass die Laufzeit vom Eintreffen eines Telegramms bis zum Auslösen eines Interrupts

konstant und ermittelbar ist, wenn das Telegramm auf eine Anschaltung trifft, in deren Empfangspuffer keine Telegramme gespeichert sind. Die an den Endteilnehmer zu sendenden Real-time (RT)-Telegramme werden deswegen so geplant, dass das
5 erste zu empfangende Telegramm beim Endteilnehmer garantiert auf eine leere Anschaltung trifft.

Die damit erreichbare Synchronität eines Teilnehmers mit gewöhnlicher Ethernet-Anschaltung wird damit fast ausschließ-
10 lich durch den Jitter der Interrupt-Latenzzeit bestimmt. Bei dedizierten Systemen kann damit eine Genauigkeit für die Zeitsynchronität im einstelligen Mikrosekundenbereich erreicht werden. Zur Erzielung einer größeren Zeittoleranz für eintreffende Echtzeit-Datentelegramme erhält vorzugsweise je-
15 der Port eines weiterleitenden Teilnehmers einen Empfangspuffer, der

- ein Telegramm in seiner ganzen Länge "beliebig" lang speichern kann,
20
- mehrere Telegramme gleichzeitig bis zu einer Gesamtgröße, die der des Empfangspuffers entspricht, speichern kann und
- als FIFO (First-In First-out) so organisiert ist, dass ei-
25 nerseits die Telegramme immer entsprechend ihrer Eintreffreihenfolge abgeholt werden können, aber auch ein eintreffendes Telegramm unmittelbar mit dem Beginn des Eintreffens abgeholt, d. h. weitergeleitet werden kann.

30 Eine entsprechende Ausführungsform des Durchleiteteilnehmers 303 (vergleiche Figur 3 und Figur 4) zeigt das Blockdiagramm der Figur 6. Der Durchleiteteilnehmer hat verschiedene Ports 1... n. Diese sind jeweils mit einem Empfangsmodul 600 verbunden.

35 Die Empfangsmodule 600 sind ihrerseits jeweils mit einem FIFO Empfangspuffer 602 einer Größe von z. B. 2 KByte verbunden.

In dem Empfangspuffer 602 sind verschiedene Datentelegramme gespeichert, die für den lokalen Empfang an ein internes Kommunikations-RAM 604 weitergeleitet werden können und/oder die zu einem anderen Teilnehmer des Kommunikationssystems (ver-
5 gleiche Kommunikationssystem 300 der Figur 3) weitergeleitet werden können.

Das Vorhandensein der Empfangspuffer 602 ermöglicht es also dem Durchleiteteilnehmer 303 Datentelegramme von den Endteil-
10 nehmern 306 auch schon deutlich vor dem projektierten Weiterleitungszeitpunkt bzw. Empfangszeitpunkt zu empfangen.

Die Figur 7 zeigt ein Timing-Diagramm zur Veranschaulichung der Zeitverhältnisse beim Empfang eines Datentelegramms von
15 einem Endteilnehmer (vergleiche Endteilnehmer 306 der Figur 3 und Figur 4).

Der Empfang eines Datentelegramms 700 von dem Endteilnehmer durch den Durchleiteteilnehmer 303 kann frühestens um die To-
20 leranzzeit T nach dem Beginn des Teilzyklus 502 für die Echtzeitkommunikation erfolgen. Daran anschließend gibt es ein Zeitfenster 702 innerhalb dessen das Datentelegramm 700 von dem Durchleiteteilnehmer empfangen werden kann.

25 Die Länge des Zeitfensters 702 ist dadurch begrenzt, dass zu dem projektierten Weiterleitungszeitpunkt TW des Datentelegramms 506 zumindest ein erster Teil des Datentelegramms 700 empfangen worden sein muss, damit dieses mittels eines so genannten cut-through-Verfahrens als Datentelegramm 506 weiter-
30 geleitet werden kann. Damit dies gewährleistet ist, muss also der Endteilnehmer 306 das Datentelegramm 307 mindestens um die Toleranzzeit T vor dem projektierten Weiterleitungszeitpunkt TW absenden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Endteilnehmers (306) eines
isochronen, zyklischen Kommunikationssystems (300) mit
5 folgenden Schritten:
 - Empfang eines Synchronisationsdatentelegramms (510) von
einem Durchleiteteilnehmer (303) des Kommunikationssys-
tems (300) durch den Endteilnehmer (306), wobei das
10 Synchronisationsdatentelegramm mit der Laufzeit (T, T1,
T2) einer Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleite-
teilnehmer und dem Endteilnehmer behaftet ist,
 - Synchronisation einer Zeitbasis des Endteilnehmers
15 (306) mit Hilfe des Synchronisationsdatentelegramms,
woraus eine Synchronisation der Zeitbasis mit einer To-
leranz entsprechend der Laufzeit resultiert,
 - zyklische Abarbeitung einer Sendeliste von dem Endteil-
20 nehmer (306) innerhalb eines Kommunikationszyklus (500,
502) entsprechend der Zeitbasis des Endteilnehmers, wo-
bei die Sendung eines Datentelegramms (700) gemäß der
Sendeliste von dem Endteilnehmer an den Durchleiteteil-
nehmer frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus
25 (500, 502) und spätestens um die Toleranz (T) vor dem
projektierten Weiterleitungszeitpunkt (TW) des betref-
fenden Datentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer
(303) erfolgt.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Kommunikationszyklus
in einen ersten Teilzyklus (502) für die Echtzeitkommuni-
kation und in einem zweiten Teilzyklus (504) für die
Nicht-Echtzeit-Kommunikation aufteilbar ist und wobei die
Übertragung des Datentelegramms in dem Teilzyklus für die
35 Echtzeitkommunikation erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich die Laufzeit aus der Laufzeit (T1) des Synchronisationsdatentelegramms über eine Übertragungsstrecke (308) und der Latenzzeit (T2) zur Auslösung eines Interrupts in einer Anschaltung (310) des Endteilnehmers (306) ergibt.
- 5
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1, 2 oder 3, wobei der Empfang des Synchronisationsdatentelegramms (510) von dem Endteilnehmer bei leerem Empfangspuffer des Endteilnehmers erfolgt.
- 10
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, wobei die Sendung des Synchronisationsdatentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer (303) frühestens nach einer maximalen Entleerzeit des Empfangspuffers des Endteilnehmers (306) nach dem Beginn des Kommunikationszyklus erfolgt.
- 15
6. Computerprogrammprodukt, insbesondere digitales Speichermedium, zum Betrieb eines Endteilnehmers eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems, mit Programmmitteln zur Durchführung der folgenden Schritte:
- 20
- Empfang eines Synchronisationsdatentelegramms (510) von einem Durchleiteteilnehmer (303) des Kommunikationssystems (300) durch den Endteilnehmer (306), wobei das Synchronisationsdatentelegramm mit der Laufzeit (T, T1, T2) einer Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleiteteilnehmer und dem Endteilnehmer behaftet ist,

25

 - Synchronisation einer Zeitbasis des Endteilnehmers (306) mit Hilfe des Synchronisationsdatentelegramms, woraus eine Synchronisation der Zeitbasis mit einer Toleranz entsprechend der Laufzeit resultiert,

30

 - zyklische Abarbeitung einer Sendeliste von dem Endteilnehmer (306) innerhalb eines Kommunikationszyklus (500,

35

502) entsprechend der Zeitbasis des Endteilnehmers, wobei die Sendung eines Datentelegramms (700) gemäß der Sendeliste von dem Endteilnehmer an den Durchleiteteilnehmer frühestens zu Beginn des Kommunikationszyklus (500, 502) und spätestens um die Toleranz (T) vor dem projizierten Weiterleitungszeitpunkt (TW) des betreffenden Datentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer (303) erfolgt.

10 7. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 6, wobei die Programmmittel so ausgebildet sind, dass der Empfang des Synchronisationsdatentelegramms nur bei leerem Empfangspuffer erfolgt.

15 8. Endteilnehmer eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems mit:

- Mitteln zum Empfang eines Synchronisationsdatentelegramms (510) von einem Durchleiteteilnehmer (303) des Kommunikationssystems (300) durch den Endteilnehmer (306), wobei das Synchronisationsdatentelegramm mit der Laufzeit (T, T1, T2) einer Übertragungsstrecke zwischen dem Durchleiteteilnehmer und dem Endteilnehmer behaftet ist,

25 - Mitteln zur Synchronisation einer Zeitbasis des Endteilnehmers (306) mit Hilfe des Synchronisationsdatentelegramms, woraus eine Synchronisation der Zeitbasis mit einer Toleranz entsprechend der Laufzeit resultiert,

30 - Mitteln zur zyklische Abarbeitung einer Sendeliste von dem Endteilnehmer (306) innerhalb eines Kommunikationszyklus (500, 502) entsprechend der Zeitbasis des Endteilnehmers, wobei die Sendung eines Datentelegramms (700) gemäß der Sendeliste von dem Endteilnehmer an den Durchleiteteilnehmer frühestens zu Beginn des Kommuni-

kationszyklus (500, 502) und spätestens um die Toleranz (T) vor dem projektierten Weiterleitungszeitpunkt (TW) des betreffenden Datentelegramms durch den Durchleiteteilnehmer (303) erfolgt.

5

9. Durchleiteteilnehmer eines isochronen, zyklischen Kommunikationssystems mit Mitteln zur Sendung eines Synchronisationsdatentelegramms (510) an einen Endteilnehmer (306) über eine mit einer Laufzeit (T, T1, T2) behaftete Übertragungsstrecke (308), wobei die Sendung des Synchronisationsdatentelegramms frühestens nach einer Sendepause (512) nach Beginn des Kommunikationszyklus (500, 502) erfolgt, wobei die Sendepause einer maximalen Entleerzeit eines Empfangspuffers (310) des Endteilnehmers entspricht.

10

15

10. Computerprogrammprodukt, insbesondere digitales Speichermedium, mit Programmmitteln zur Sendung eines Synchronisationsdatentelegramms (510) an einen Endteilnehmer (306) über eine mit einer Laufzeit behafteten Übertragungsstrecke (308), wobei die Sendung des Datentelegramms frühestens nach einer Sendepause (512) nach Beginn des Kommunikationszyklus (500, 502) erfolgt, und die Sendepause einer maximalen Entleerzeit des Empfangspuffers (310) des Endteilnehmers (306) entspricht.

20

25

11. Kommunikationssystem mit zumindest einem Endteilnehmer nach Anspruch 8 und mit zumindest einem Durchleiteteilnehmer nach Anspruch 9.

30

1/4

FIG 1

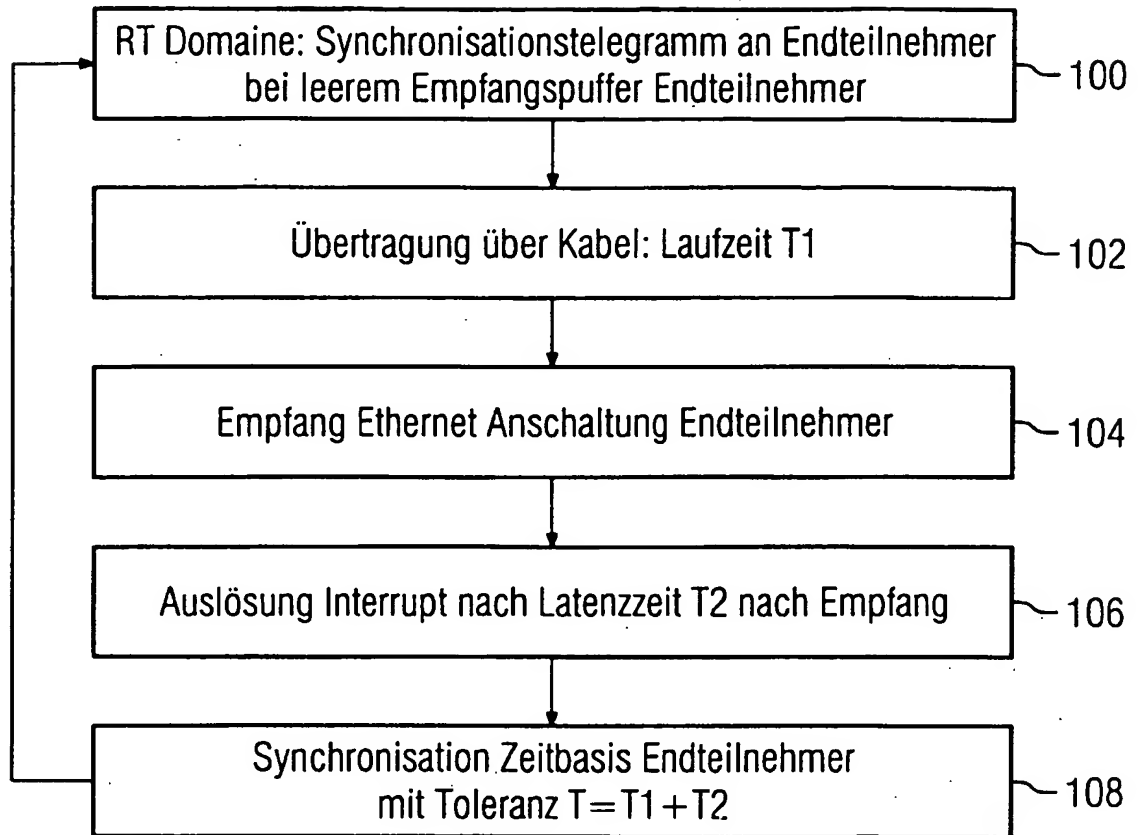
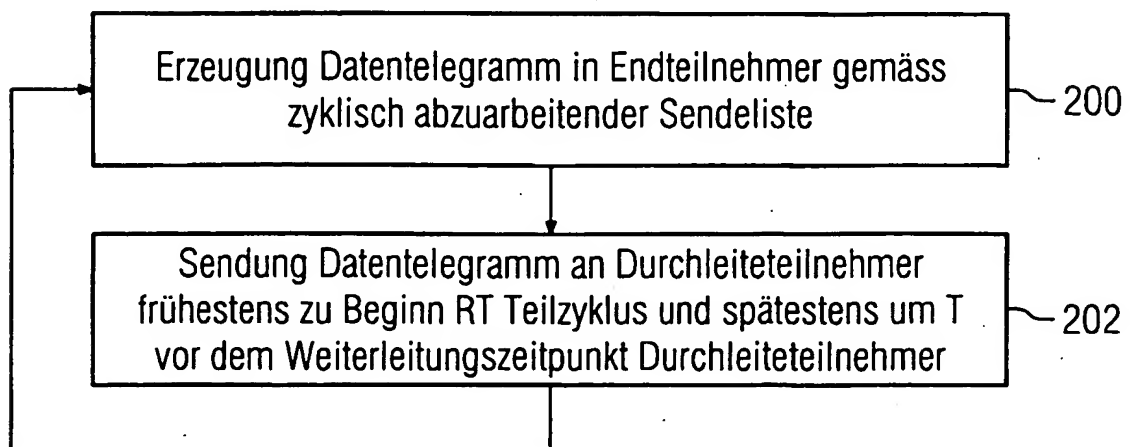


FIG 2



2/4

FIG 3

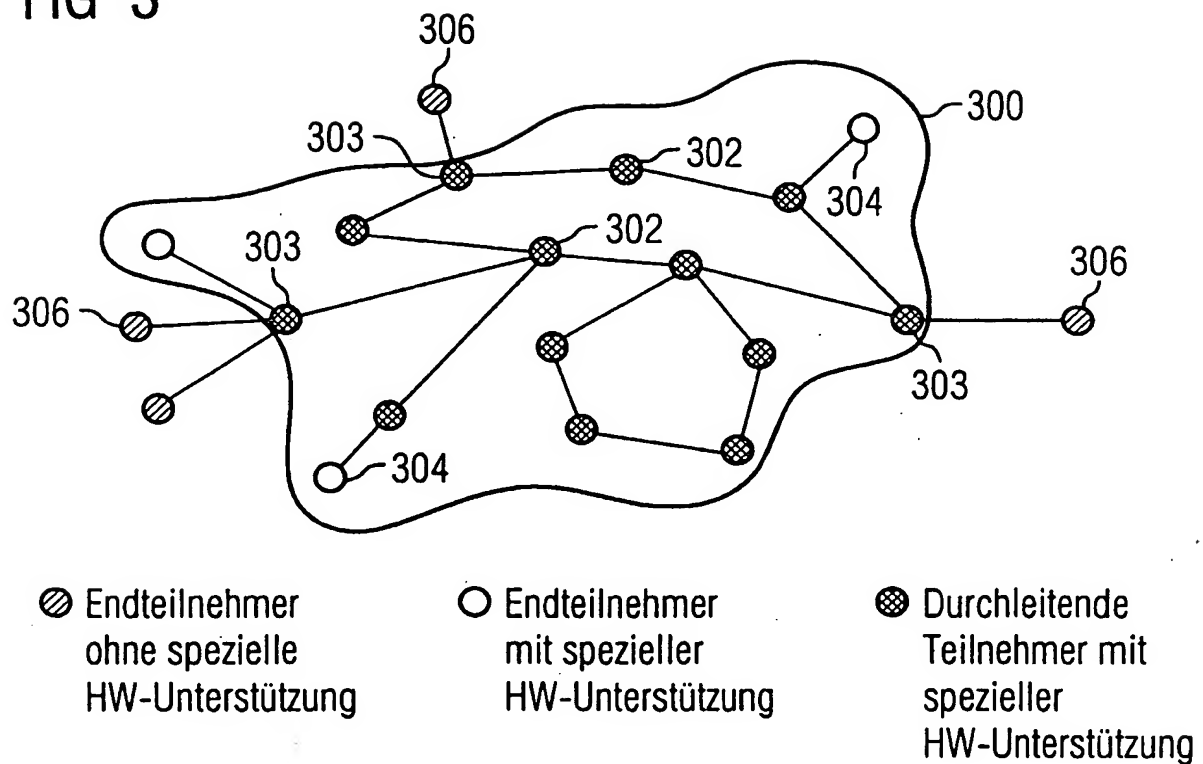
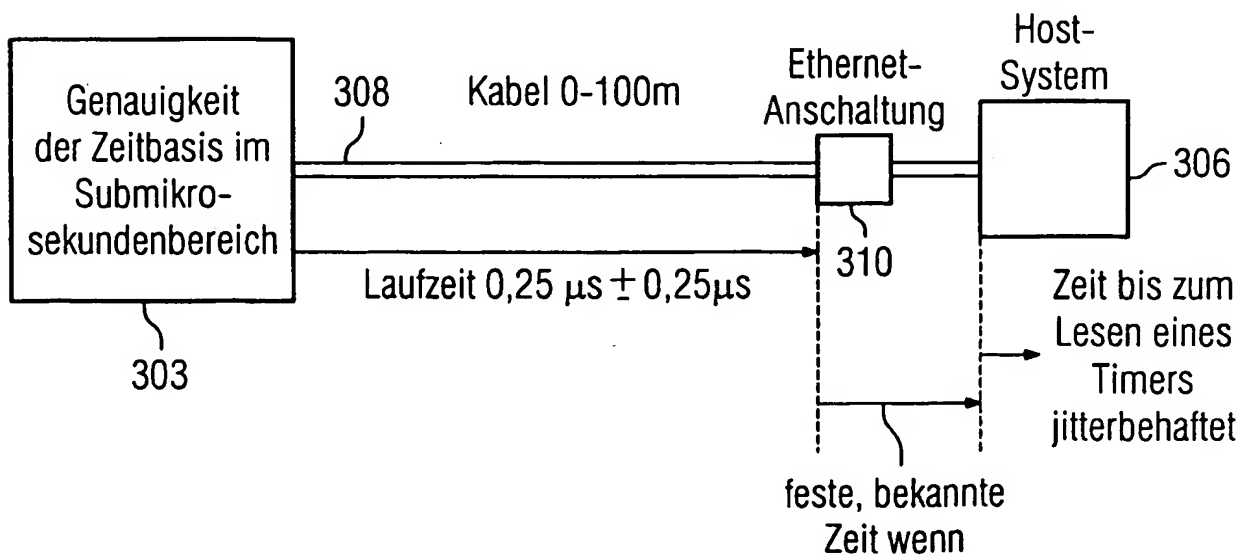


FIG 4

benachbarter
Durchleiteteilnehmer

Endteilnehmer



3/4

FIG 5

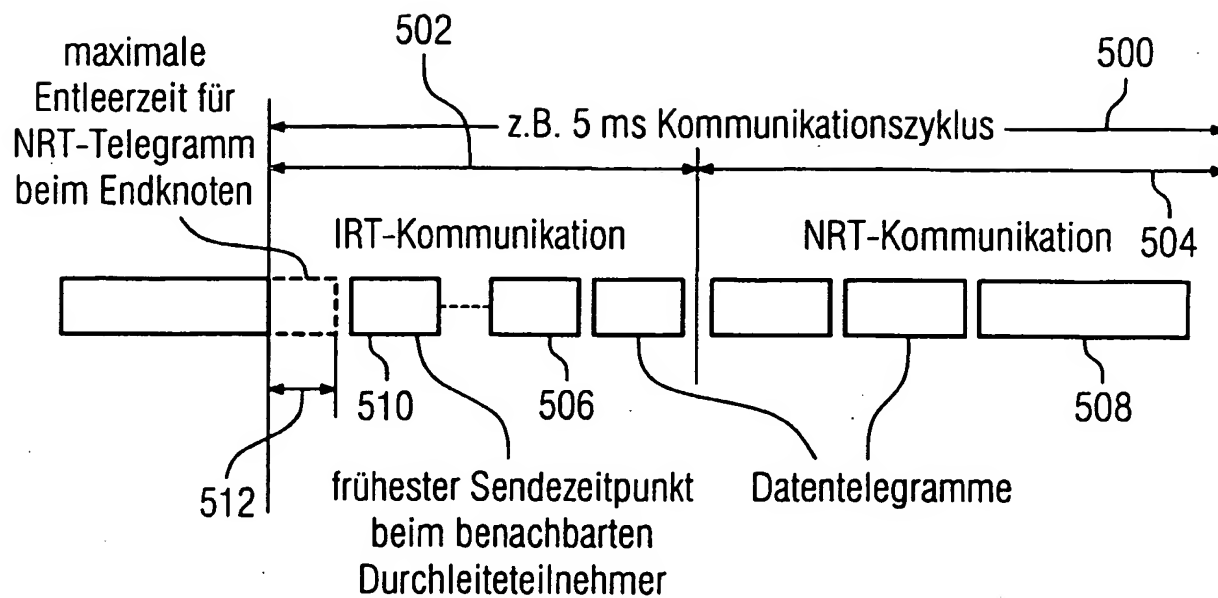


FIG 6

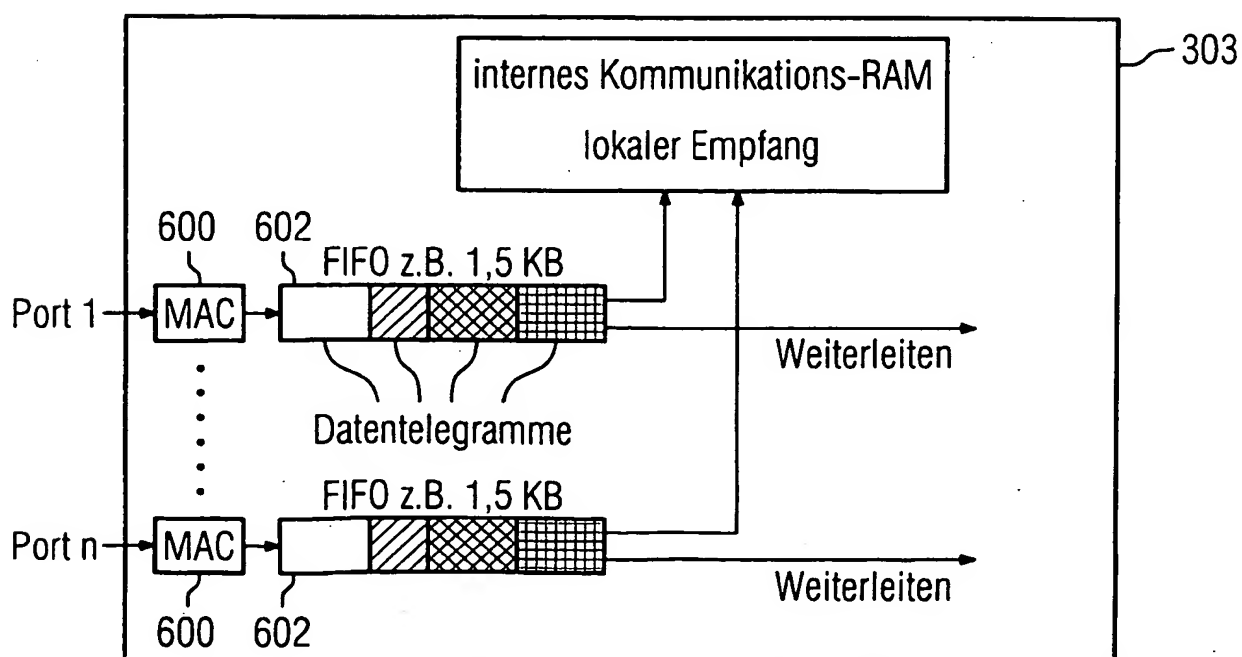


FIG 7

